



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 42 27 998 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**F 15 B 13/044**  
F 15 B 13/08  
F 16 K 11/00

②1 Aktenzeichen: P 42 27 998.4  
②2 Anmeldetag: 24. 8. 92  
④3 Offenlegungstag: 10. 3. 94

DE 42 27 998 A 1

⑦1 Anmelder:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung eV, 80636 München, DE

⑦4 Vertreter:

Schoppe, F., Dipl.-Ing.Univ., Pat.-Anw., 82049 Pullach

⑦2 Erfinder:

Zengerle, Roland, Dipl.-Phys., 8000 München, DE;  
Richter, Axel, Dipl.-Ing., 8000 München, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Mikrominiaturisierbares Ventil

⑤7 Ein mikrominiaturisierbares Ventil umfaßt eine Druckausgleichskammer, ein erstes semiaktives Ventil, das zwischen der Druckausgleichskammer und einer ersten Fluidleitung angeordnet ist und ein zweites semiaktives Ventil, das zwischen der Druckausgleichskammer und einer zweiten Fluidleitung angeordnet ist.

DE 42 27 998 A 1

Die vorliegende Erfindung betrifft ein mikrominiaturisierbares Ventil.

Bekannte pneumatische Ventile und hydraulische Ventile bestehen aus einer Vielzahl von Komponenten, die typischerweise aus Kunststoffen und Metallen bestehen. Insbesondere bei sogenannten Verstärkerventilen, die mittels eines vergleichsweise geringen pneumatischen Steuerdruckes einen hohen Druck schalten können, ergeben sich bei bekannten Ventilen erhebliche Baugrößen und somit auch hohe Volumina, die bei den bekannten Ventilen zu vergleichsweise langen Schaltzeiten und einem in dynamischer Hinsicht nicht zufriedenstellenden Verhalten führen.

Seit einiger Zeit werden Ventilstrukturen und Mikropumpen auch mit Methoden der Halbleitertechnologie hergestellt. So zeigt beispielsweise die Fachveröffentlichung Sensors und Actuators 20 (1989), 163 bis 169 ein mittels Photolithographischer Verfahren aus Silizium hergestelltes Mikroventil, das auf einem Siliziumwafer mit einem Durchgangsloch für das zu steuernde Fluid angeordnet ist, wobei diese Ventilstruktur einen beweglichen Ventilkörper umfaßt, der mittels radial verlaufender Arme, die in einen Befestigungsring übergehen, über dem Durchgangsloch angeordnet ist. Ein Schließen des Durchgangsloches erfolgt durch ein piezoelektrisches Betätigungselement.

Aus der Fachveröffentlichung Proceedings of IEEE, MEMS-90, 11. bis 14.02.1990, Napa Valley, Kalifornien: "Micromachined Silicon Microvalve" ist bereits ein elektrostatisch betätigbares Siliziummikroventil bekannt, welches ein Grundteil mit einer Einlaßöffnung umfaßt, die konisch zu einer Auslaßöffnung zusammenläuft, oberhalb der in einem geringen Abstand eine elastische Verschußplatte aus einem Dielektrikum angeordnet ist. Sowohl die elastische Verschußplatte als auch der unterhalb dieser Verschußplatte liegende Dielektrikumbereich haben Elektrodenplatten zum elektrostatischen Öffnen und Schließen des so gebildeten Mikroventiles. Die Flußmodulationskurve eines derartigen Mikroventiles in Abhängigkeit von der Steuerspannung zeigt eine starke Hysterese. Obwohl dieses bekannte Mikroventil eine hohe Haltekraft hat, also in seinem geschlossenen Zustand auch einer hohen Druckdifferenz von ca. 1000 mbar widersteht, ist es nicht dazu in der Lage, bei hohen Fluiddurchflußströmungsgeschwindigkeiten und Druckdifferenzen von mehr als 150 mbar in seiner geöffneten Lage durch Anlegen eines elektrischen Steuersignales wieder geschlossen zu werden. Ein Schließen ist praktisch nur möglich, wenn die Fluidströmung, die das Mikroventil durchströmt, im wesentlichen auf Null zurückgegangen ist.

Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Mikroventil zu schaffen, das mit den Methoden der Mikromechanik hergestellt werden kann, eine kurze Ansprechzeit und ein verbessertes dynamisches Verhalten aufweist und auch hohe Drücke an- und abschalten kann.

Diese Aufgabe wird durch ein mikrominiaturisierbares Ventil gemäß Patentanspruch 1 gelöst.

Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung umfaßt das Ventil eine Druckausgleichskammer und zwei mit der Druckausgleichskammer in Fluidströmungsverbindung stehende semiaktive Ventile. Ein erstes der semiaktiven Ventile ist derart zwischen der Druckausgleichskammer und einer ersten Fluidleitung angeord-

net, daß dieses gegen einen Druck in der ersten Fluidleitung, der höher ist als derjenige in der Druckausgleichskammer, durch Anlegen einer ersten Spannung an elektrisch leitfähige Bereiche dieses ersten semiaktiven Ventiles in seinem geschlossenen Zustand haltbar ist. Ein zweites der semiaktiven Ventile ist derart zwischen der Druckausgleichskammer und einer zweiten Fluidleitung angeordnet, daß dieses gegen einen Druck in der Druckausgleichskammer, der höher ist als derjenige in der Fluidleitung, durch Anlegen einer zweiten Spannung an leitfähige Bereiche des zweiten semiaktiven Ventiles in seinem geschlossenen Zustand gehalten werden kann. Durch eine alternierende Abschaltung der Spannungen, mit denen die beiden semiaktiven Ventile beaufschlagt werden, kann die Durchströmung des Ventiles von der ersten Fluidleitung in die zweite Fluidleitung wunschgemäß gesteuert werden.

Gemäß einem bedeutenden Aspekt der Erfindung ist ein Ventilkolben in einer von dem Druck der Druckausgleichskammer beaufschlagbaren Art angeordnet, der in Abhängigkeit von dem Druck in dieser Druckausgleichskammer gegen einen Ventilsitz anlegbar ist, um eine Fluidverbindung zwischen einer dritten und vierten Fluidleitung in steuerbarer Weise zu öffnen und zu schließen. Bei dieser Struktur des mikrominiaturisierbaren Ventiles kann die erste Fluidleitung mit einem Steuerdruck beaufschlagt werden und die zweite Fluidleitung zur Entlüftung der Druckausgleichskammer dienen. Entsprechend der elektrischen Steuersignale für die beiden semiaktiven Ventile kann der Druck in der Druckausgleichskammer auf ein wählbares Druckniveau zwischen dem Steuerdruck und dem Entlüftungsdruck in der ersten bzw. zweiten Fluidleitung eingestellt werden, so daß also durch geeignete elektrische Ansteuerung der beiden semiaktiven Ventile die Fluidverbindung zwischen der dritten und vierten Fluidleitung wunschgemäß in steuerbarer Weise geöffnet und geschlossen werden kann.

Bei geeigneter Dimensionierung der druckausgleichskammerseitigen Fläche des Ventilkolbens bezogen auf die Fläche, die sich im Bereich eines Ventilsitzes zwischen der dritten und vierten Fluidleitung ergibt, ermöglicht das erfindungsgemäße mikrominiaturisierbare Ventil eine Verstärkungswirkung dahingehend, daß mit einem vergleichsweise niedrigen Steuerdruck in der ersten Fluidleitung vergleichsweise hohe Drücke in der dritten und vierten Fluidleitung gesteuert werden können.

Weiterbildungen des erfindungsgemäßen, mikrominiaturisierbaren Ventiles sind in den Unteransprüchen angegeben.

Nachfolgend werden unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine Querschnittsdarstellung einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen, mikrominiaturisierbaren Ventiles;

Fig. 2 eine erste Ausführungsform eines semiaktiven Ventiles, das bei dem erfindungsgemäßen mikrominiaturisierbaren Ventil einsetzbar ist;

Fig. 3a eine zweite bis fünfte Ausführungsform des bis 3d semiaktiven Mikroventiles, welches bei dem erfindungsgemäßen Ventil einsetzbar ist;

Fig. 4 eine der Fig. 1 entsprechende Darstellung einer zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen, mikrominiaturisierbaren Mikroventiles;

Fig. 5 eine weitere, der Fig. 1 entsprechende Darstel-

lung einer dritten Ausführungsform des erfindungsge-  
mäßigen, mikrominiaturisierbaren Ventiles;

Fig. 6 eine weitere, der Fig. 1 entsprechende Darstellung einer vierten Ausführungsform des erfindungsge-  
mäßigen, mikrominiaturisierbaren Ventiles;

Fig. 7 eine weitere, der Fig. 1 entsprechende Darstellung einer fünften Ausführungsform des erfindungsge-  
mäßigen, mikrominiaturisierbaren Ventiles; und

Fig. 8 eine fünfte Ausführungsform des erfindungsge-  
mäßigen, mikrominiaturisierbaren Ventiles.

Wie insbesondere in Fig. 1 zu sehen ist, umfaßt das dort gezeigte erste Ausführungsbeispiel eines mikrominiaturisierten Ventiles, das in seiner Gesamtheit mit dem Bezugszeichen 1 bezeichnet ist, drei übereinander angeordnete und miteinander fest verbundene, im wesentlichen plattenförmige Körper K1, K2, K3. Bei dem bevorzugten Ausführungsbeispiel sind die drei Körper K1, K2, K3 durch Siliziumwafer gebildet. Der erste und zweite Körper K1, K2 sind elektrisch leitend miteinander verbunden. Der dritte Körper K3 ist gegenüber dem zweiten Körper K2 elektrisch isoliert. Diese elektrische Isolation wird vorzugsweise dadurch realisiert, daß der dritte Körper K3 auf seiner dem zweiten Körper K2 zugewandten Seite mit einer Isolationsschicht ganz flächig überzogen ist. Die Isolationsschicht kann aus Siliziumoxid oder Siliziumnitrid bestehen. Der zweite und dritte Körper K2, K3 sind vorzugsweise nur sehr gering oder überhaupt nicht voneinander beabstandet. Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel sind diese beiden Körper K2, K3 durch anodisches Bonden über eine elektrisch isolierende Pyrex-Zwischenschicht verbunden. Gleichfalls ist es möglich, die beiden Körper K2, K3 in einer plan aufeinanderliegenden Anordnung seitlich zu verkleben.

Der erste und/oder der zweite Körper K1, K2 sind mittels photolithographischer Ätzverfahren derart strukturiert, daß sie miteinander eine Druckausgleichskammer 2 festlegen.

Bei der gezeigten Ausführungsform ist die Druckausgleichskammer 2 in den ersten Körper K1 durch Ätzen eingestrichelt. Für den Fachmann auf dem Gebiet der Halbleitertechnologie ist es jedoch offenkundig, daß der erste Körper K1 auch als ebene Platte ausgeführt sein kann, wenn die Druckausgleichskammer 2 in die dem ersten Körper K1 zugewandte Seite des zweiten Körpers K2 eingestrichelt ist.

An dem dritten Körper K3 sind auf dessen dem zweiten Körper K2 abgewandten Seite vier Fluidleitungen L1, L2, L3, L4 befestigt. Die Befestigung der Fluidleitungen kann mittels eines geeigneten Klebers erfolgen. Das gesamte Ventil kann allerdings auch in ein spezielles Gehäuse eingepaßt werden, welches sowohl die Verbindung der elektrischen Anschlüsse, als auch die Verbindung mit den Fluidanschlüssen herstellt.

In der Fluidverbindung zwischen der Druckausgleichskammer 2 und der ersten sowie zweiten Fluidleitung L1, L2 liegen zwei semiaktive Ventile 3, 4. Das erste semiaktive Ventil 3 ist derart angeordnet, daß dieses einen Druck in der ersten Fluidleitung L1, der höher ist als derjenige in der Druckausgleichskammer 2, durch Anlegen einer ersten Spannung U1 an elektrisch leitfähige Bereiche (vergleiche Fig. 2) des Ventiles in einem geschlossenen Zustand haltbar ist. Das zweite semiaktive Ventil 4 ist bezogen auf die Einbaulage des ersten semiaktiven Ventiles 3 derart umgekehrt angeordnet, daß dieses gegen den Druck in der Druckausgleichskammer 2, der höher ist als derjenige in der zweiten Fluidleitung L2, durch Anlegen einer zweiten Spannung

U2 an leitfähige Bereiche (vergleiche Fig. 2) des zweiten Ventiles in einem geschlossenen Zustand haltbar ist. Wie aus der Gesamtschau der Fig. 1 und 2 deutlich zu erkennen ist, haben das erste und das zweite semiaktive Ventil 3, 4 jeweils einen beweglichen Ventilbereich, der hier als Ventilklappe 5 ausgeführt ist, welche eine Öffnung 6 in einem benachbarten, feststehenden Flächenbereich 7 des jeweils benachbarten Körpers K1 bzw. K2 überdeckt. Der zweite und dritte Körper K2, K3 sind, wie bereits erwähnt wurde, von Isolationsschichten 9, 10 umgeben.

Der zweite Körper K2 weist an seinem dem dritten Körper K3 zugewandten, feststehenden Flächenbereich 7 im Bereich der Öffnung 6 eine erste Elektrode in Form einer Metallisierung 11 auf.

Die Ventilklappe 5 hat zumindest an ihrer dem feststehenden Flächenbereich 7 des zweiten Körpers K2 gegenüberliegenden Seite eine vorzugsweise außerhalb der Isolationsschicht 10 angeordnete zweite Elektrode, die gleichfalls eine Metallisierung sein kann. An diese beiden Elektroden 11, 12 wird die Steuerspannung U1, U2 angelegt, mit der die Ventilklappe 5 elektrostatisch in einer gegen die Öffnung 6 abdichtend anliegenden Lage gehalten werden kann.

Das erste semiaktive Ventil 3 unterscheidet sich von dem soeben beschriebenen zweiten semiaktiven Ventil 4 nur dadurch, daß dieses in umgekehrter Lage durch den zweiten und dritten Körper K2, K3 gebildet ist, wobei also der Körper K2 eine Ventilklappe 13 bildet, während der dritte Körper K3 die gegenüberliegende Öffnung 14 definiert.

Der zweite Körper K2 hat eine sich von seiner einen Hauptfläche bis fast an seine andere Hauptfläche erstreckende Ausnehmung 15 zur Bildung einer Membran 16, deren Mittelteil vorzugsweise einen von der Ausnehmung 15 umgebenen Ventilkolben 17 bildet. Der Ventilkolben 17 ist durch die Membran 16 federnd aufgehängt.

Der dritte Körper K3 hat eine mittige Durchgangsöffnung 18 in Gegenüberlage zu dem Ventilkolben 17, wodurch der die Durchgangsöffnung 18 umgebende Bereich des Körpers K3, der dem Ventilkolben 17 benachbart ist, einen Ventilsitz 19 festlegt. Der dritte Körper K3 weist eine weitere Durchgangsöffnung 19 auf, die sich von der dritten Fluidleitung L3 bis zu der Ausnehmung 15 in dem zweiten Körper K2 erstreckt. In der ersten Steuerleitung L1 herrscht der Steuerdruck p1, in der zweiten Fluidleitung L2 besteht ein Entlüftungsdruck p4, in der dritten Fluidleitung L3 herrscht ein Zuluftdruck p2, während in der vierten Fluidleitung L4 ein Abfuhrdruck p3 vorliegt. An die vierte Fluidleitung kann ein Gefäß angeschlossen sein, dessen Druck durch das Ventil 1 gesteuert werden soll.

Bevor die Funktionsweise des Ventiles 1 gemäß Fig. 1 erläutert wird, soll zunächst unter Bezugnahme auf Fig. 2 die Funktionsweise des bei dem Ventil 1 verwendeten semiaktiven Ventiles 3, 4 erläutert werden.

Durch Anlegen einer elektrischen Spannung U zwischen der zweiten Elektrode 12, der Klappe 5 und der gegenüberliegenden Elektrode 11 an dem feststehenden Flächenbereich 7 des zweiten Körpers K2 wird die Klappe 5 mit dem elektrostatischen Druck p auf den gegenüberliegenden Flächenbereich 7 gedrückt. Für die kondensatorähnliche Anordnung errechnet sich p folgendermaßen:

$$p = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_1}{2} \cdot \frac{U^2}{d^2}$$

In dieser Gleichung bezeichnet  $\epsilon_1$  die relative Dielektrizitätskonstante des Isolatormediums und  $d$  die Dicke des Dielektrikums. Im Falle einer ca. 1  $\mu\text{m}$  dicken Siliziumoxidschicht als Isolation lassen sich bei Spannungen um 30 Volt elektrostatische Drücke im Bereich von einigen hundert mbar erzeugen.

Die Klappe 5 kann durch Anlegen einer Spannung gegenüber einem Überdruck auf der Seite der Öffnung 6 geschlossen gehalten werden, bis Kräftegleichgewicht herrscht. Hierbei gilt:

$$(p_1 - p_4) F_1 = p \cdot F_2$$

In dieser Gleichung bezeichnet  $F_1$  die Fläche der Öffnung 6 und  $F_2$  diejenige Fläche der Ventilklappe 5, die über die Öffnung 6 hinausgeht.

Je nach dem Verhältnis der Flächen  $F_2/F_1$  kann der elektrostatische Druck von einigen hundert Millibar deutlich höhere pneumatische Druckdifferenzen ( $p_1 - p_4$ ) abblocken.

Schaltet man die Spannung  $U$  ab, so biegt sich die Klappe 5 von dem feststehenden Flächenbereich 7 weg, so daß ein Fluid (Luft oder ein isolierendes Hydraulikum) das semiaktive Ventil 3, 4 passieren kann.

Ausgehend von der Funktionsweise der semiaktiven Ventile 3, 4 soll nunmehr die Funktion des Ventiles 1 (Fig. 1) erläutert werden. Bei geschlossenem semiaktivem Ventil 4 auf der Entlüftungsseite, als der Seite der zweiten Fluidleitung  $L_2$ , kann man durch Abschalten der Spannung  $U_1$  das semiaktive Ventil 3 auf der Steuerdruckseite, d. h. der Seite der ersten Fluidleitung  $L_1$  öffnen, was einen Gasfluß bzw. allgemein einen Fluidfluß in die Druckausgleichskammer 2 zur Folge hat, bis Druckausgleich erreicht ist. In diesem Stadium läßt sich das semiaktive Ventil 3 wieder schließen und elektrostatisch durch Anlegen der Spannung  $U_1$  halten.

Durch ein Abschalten der Spannung  $U_2$  an dem zweiten semiaktiven Ventil 4 bei geschlossenem Zustand des ersten semiaktiven Ventiles 3 läßt sich die Druckausgleichskammer 2 entlüften bzw. auf das niedrigere Druckniveau  $p_4$  innerhalb der zweiten Fluidleitung  $L_2$  bringen. Nach erfolgtem Druckausgleich läßt sich dieses semiaktive Ventil 4 durch Anlegen der Spannung  $U_2$  wieder schließen, woraufhin der Zyklus von neuem beginnen kann. Um eine möglichst hohe Betriebsfrequenz erreichen zu können, sollte das Volumen der Druckausgleichskammer 2 möglichst gering sein.

Um das Ventil 1 gegen den Gegendruck geschlossen zu halten, ist keine elektrische Leistung erforderlich, da eine Leistungsaufnahme nur während des Schaltvorganges erfolgt.

Wenn in der dritten Fluidleitung  $L_3$  ein Überdruck  $p_2$  gegenüber dem Druck  $p_3$  in der vierten Fluidleitung herrscht und sich die Druckausgleichskammer 2 unter dem Steuerdruck  $p_1$  von der ersten Fluidleitung  $L_1$  befindet, so wird der Ventilkolben 17 auf den Ventilsitz 19 der Abluftdurchgangsöffnung 18 gepreßt, so daß das pneumatische Ventil 1 geschlossen ist.

Wenn nun das zweite semiaktive Ventil 4 auf der Entlüftungsseite durch Abschalten der Spannung  $U_2$  geöffnet wird, so reduziert sich der Druck in der Druckausgleichskammer 2 vom Druck  $p_1$  auf den Druck  $p_4$ .

Der Ventilkolben 17 wird durch die Druckdifferenz von der Kolbenunterseite und Kolbenoberseite nach oben ausgelenkt. Nun sind die dritte und vierte Fluidleitung  $L_3$ ,  $L_4$  miteinander verbunden, so daß also das Ventil 1 geöffnet ist.

Bei der Betriebsart eines solchen Ventils lassen sich prinzipiell zwei unterschiedliche Fälle unterscheiden:

In einer ersten Betriebsart kann der Druck in den Fluidleitungen  $L_3$  und  $L_4$  jeweils konstant sein, so daß mit dem Ventil ein bestimmter, stationärer Fluid-Durchfluß geschaltet werden kann. Wenn dieser Betriebsfall vorliegt, so sind für die Berechnung des Steuerdrucks  $p_1$  keine zeitlich variablen Drücke notwendig, und das Ventil kann dadurch geschaltet werden, daß der Druck in der Druckausgleichskammer mittels den beiden semiaktiven Ventilen zwischen Steuerdruck  $p_1$  und Entlüftungsdruck  $p_4$  geschaltet wird.

In einer zweiten Betriebsart kann beispielsweise an die Fluidleitung  $L_4$  ein abgeschlossenes Behältnis angeschlossen sein, in dem der Druck durch das oben beschriebene Ventil vom Anfangsdruck  $p_3$  auf den höheren Enddruck  $p_2$  gesteigert wird. Der Druck in einer der beiden Fluidleitungen  $L_3$  oder  $L_4$  ist dabei also ebenso wie der Druckfluß mit der Zeit variabel. Um den Druck in dem Behältnis wieder auf  $p_3$  reduzieren zu können und somit den Ausgangszustand wieder erreichen zu können, ist also ein zweites Ventil notwendig. Die Zuluftleitung  $L_3$  des zweiten Ventils wird mit dem Behältnis verbunden und durch das Öffnen des zweiten Ventils kann das Behältnis wieder entlüftet werden. Der Ausgangszustand ist also wiederhergestellt. Für die Größe des Steuerdrucks, der die jeweiligen Ventile wieder schließen muß, sind die variablen Drücke in den Fluidleitungen  $L_3$  und  $L_4$  jeweils zu berücksichtigen.

Je nach Dimensionierung der Fläche  $A_3$  der Abluftdurchgangsöffnung 18 und der Fläche  $A_1$  der Membran 16 läßt sich das in Fig. 1 gezeigte einfache logische Element als einfacher Schalter betreiben, bei dem der Steuerdruck  $p_1$  und der Zuluftdruck  $p_2$  identisch sind, oder auch als Verstärkerelement betreiben, bei dem man mit einem geringen Steuerdruck  $p_1$  einen großen Zuluftdruck  $p_2$  schalten kann. Zum Schalten des Ventiles ist ein Mindestschaltdruck  $p_{1\min}$  erforderlich. Es gilt:

$$p_{1\min} = p_3 \left( \frac{A_3}{A_1} \right) + p_2 \left( \frac{A_2}{A_1} \right)$$

mit  $A_1 = A_3 + A_2$ .

Bei der Wahl der Flächen  $A_3$ ,  $A_1$  ist man auf einen Bereich  $A_3$  kleiner als  $A_1$  beschränkt, woraus aufgrund der obigen Gleichung zu entnehmen ist, daß der Steuerdruck  $p_{1\min}$  immer größer sein muß als der Abluftdruck  $p_3$ . Andererseits läßt sich auch erkennen, daß der minimale Steuerdruck  $p_{1\min}$  durch geeignete Wahl der Flächen  $A_1$ ,  $A_3$  deutlich geringer sein kann als der zu schaltende Zuluftdruck  $p_2$ , woraus sich die beschriebene Verstärkungsfunktion ergibt.

Die semiaktiven Ventile 3, 4 sind nicht auf die in Fig. 2 gezeigte Form beschränkt. In den Fig. 3a bis 3d sind Varianten semiaktiver Ventile gezeigt, bei denen die in Fig. 3a gezeigte Ausführungsform eine glatt an dem feststehenden Flächenbereich 7 anliegende Ventilklappe 5 hat. Anstelle der Klappe 5 gemäß Fig. 3a kann ein zweiseitig eingespannter Balken (nicht dargestellt) ver-

wendet werden. Der feststehende Flächenbereich 7 kann, wie dies in Fig. 3b gezeigt ist, durch entsprechende Oberflächenausnehmungen 21 festgelegte Auflagestege 20 haben, an denen die Ventilklappe 5 anliegt. Durch diese Ausgestaltung läßt sich die Gefahr der Verschmutzung reduzieren und ein günstigerer Durchflußwiderstand des semiaktiven Ventiles erreichen. Die Absenkung der Oberflächenausnehmungen 21 sollte allerdings nicht tiefer als 1 µm sein, um den erzeugbaren elektrostatischen Druck nicht zu stark zu vermindern.

Ebenfalls ist es möglich, anstelle der Klappe 5 eine Membran 22 auszubilden, die eine mittige Membranversteifung 23 umfassen kann. Bei dieser Ausgestaltung wird man Öffnungen 24 in der Membran beabstandet zu der Öffnung 6 in dem Gegenkörper anordnen. Entsprechend der Ausgestaltung der Fig. 3b kann auch bei dieser membranartigen Ausführung des beweglichen Ventils eine Oberflächenausnehmung 25 vorgesehen sein.

Eine zweite Ausführungsform des Ventiles 1 ist in Fig. 4 dargestellt. Mit der Ausführungsform der Fig. 1 übereinstimmende Teile sind mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet, so daß deren nochmalige Beschreibung entfallen kann. Bei der Ausführungsform gemäß Fig. 4 hat die Ausnehmung 15' eine vergrößerte Lateralerstreckung, wodurch die Lateralerstreckung des Ventilkolbens 17' entsprechend vermindert ist. Hierdurch ergeben sich breitere Membranbereiche 16'.

Bei dem dritten Ausführungsbeispiel des Ventiles 1 gemäß Fig. 5 unterscheidet sich dadurch von dem ersten Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1, daß hier die Membran 16'' gegenüber der dem ersten Körper K1 zugewandten Hauptfläche des zweiten Körpers K2 durch eine Flächenausnehmung 26 rückgesetzt ist. Entsprechend ist die Ausnehmung 15'', die den Ventilkolben 17'' umschließt, mit geringerer Tiefe ausgeführt.

Die nachfolgend erläuterte vierte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ventiles stimmt mit Ausnahme der nachfolgend erläuterten Unterschiede mit der zweiten Ausführungsform überein, so daß auch hier übereinstimmende Bezugszeichen der zweiten Ausführungsform gemäß Fig. 4 und der vierten Ausführungsform gemäß Fig. 6 gleiche Teile bezeichnen. Bei dieser Ausführungsform des Ventiles 1 weist der dritte Körper K3 im Bereich des Ventilsitzes 19 eine Ringausnehmung 28 auf, die einen schmalen Auflagerand 27 für den Ventilkolben 17' festlegt. Dieser schmale Auflagerand 27 verringert nicht nur die Anfälligkeit des Ventiles 1 gegenüber Verunreinigungen, sondern bewirkt insbesondere eine klare Definition derjenigen Fläche A<sub>2</sub>, über die der Druck p<sub>2</sub> wirkt, in Abgrenzung zu derjenigen Fläche A<sub>3</sub>, über die der Druck p<sub>3</sub> wirkt. Mit den so definierten Flächen A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> läßt sich die Kräftebilanz, die auf den Ventilkolben 17' einwirkt, in Abhängigkeit von den Drücken p<sub>1</sub>, p<sub>2</sub>, p<sub>3</sub> und p<sub>4</sub> sowie den genannten Flächen aufstellen.

Derjenige Druck p<sub>ausgleich</sub>, der in der Druckausgleichskammer 2 herrscht, für den sich der Ventilkolben 17' weder nach oben noch nach unten bewegt, errechnet sich folgendermaßen:

$$p_{\text{ausgleich}} \cdot A_1 = p_3 \cdot A_3 + p_2 \cdot A_2.$$

Für die Flächen A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> und A<sub>3</sub> gilt folgender Zusammenhang:

$$A_1 = A_2 + A_3.$$

Ist der momentane Druck p in der Druckausgleichskammer größer als der Gleichgewichtsdruck p<sub>ausgleich</sub>, der sich aus der obigen Gleichung ergibt, so wird der Ventilkolben 17' auf die Abluftöffnung 18 gegen den Auflagerand 27 gedrückt und die Verbindung zwischen Abluft, d. h. der vierten Fluidleitung L<sub>4</sub>, und Zuluft, d. h. der dritten Fluidleitung L<sub>3</sub>, unterbrochen. Anderenfalls besteht eine Verbindung zwischen der dritten und vierten Fluidleitung L<sub>3</sub>, L<sub>4</sub>.

Bei festem Zuluftdruck p<sub>2</sub> und festem Abluftdruck p<sub>3</sub> müssen der Steuerdruck p<sub>1</sub> und der Entlüftungsdruck p<sub>4</sub> folgenden Kriterien genügen:

$$p_4 \cdot A_1 < p_3 \cdot A_3 + p_2 \cdot A_2 \quad (\text{Kriterium für offenes Ventil})$$

$$p_3 \cdot A_3 + p_2 \cdot A_2 < p_1 \cdot A_1 \quad (\text{Kriterium für geschlossenes Ventil}).$$

Insgesamt gilt also:

$$p_4 < p_3 (A_3/A_1) + p_2 (A_2/A_1) < p_1.$$

Bei den oben beschriebenen Ausführungsbeispielen ist die dritte Fluidleitung L<sub>3</sub> für die Zuluft vorgesehen, während die vierte Fluidleitung L<sub>4</sub> für die Abluft dient. Ferner ist aus Platzgründen die Fläche A<sub>2</sub> in der Regel deutlich größer als die Fläche A<sub>3</sub>. Für diesen Fall ergibt sich ein noch günstigeres Betriebsverhalten des erfindungsgemäßen Ventils 1, wenn die Zuluft durch die vierte Fluidleitung L<sub>4</sub> zugeführt wird und die dritte Fluidleitung L<sub>3</sub> als Abluftleitung verwendet wird. In diesem Fall ergibt sich bei unveränderten Verhältnissen der Flächen A<sub>2</sub> und A<sub>3</sub> zueinander eine höhere Verstärkungswirkung, d. h. die Schaltbarkeit eines höheren Zuluftdruckes in der vierten Fluidleitung L<sub>4</sub> bezogen auf den Steuerdruck p<sub>1</sub>.

Fig. 7 zeigt eine weitere Abwandlung des erfindungsgemäßen Ventiles, bei dem wiederum mit den vorhergehenden Ausführungsbeispielen übereinstimmende oder vergleichbare Teile mit gleichen oder ähnlichen Bezugszeichen bezeichnet sind. Diese Ausführungsform umfaßt vier Körper K<sub>0</sub>, K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, K<sub>3</sub>, von denen der dritte und vierte Körper K<sub>2</sub>, K<sub>3</sub> miteinander die beiden semiaktiven Ventile 3, 4 festlegen, an die die Zuluftleitung L<sub>1</sub> und die Abluftleitung L<sub>2</sub> angrenzen. Die Druckausgleichskammer 2 wird durch den Hohlraum zwischen dem zweiten und dritten Körper K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> festgelegt und grenzt an einen Membranbereich 29 des zweiten Körpers K<sub>1</sub> an, wobei dieser Membranbereich 29 auf seiner der Druckausgleichskammer 2 abgewandten Seite einen Ventilkolben 30 bildet. Der Ventilkolben 30 liegt einem Auflagerand 31 eines Ventilsitzes 32 gegenüber, der innerhalb des ersten Körpers K<sub>0</sub> durch eine entsprechende Ringausnehmung 33 gebildet ist. Die dritte und vierte Fluidleitung L<sub>3</sub>, L<sub>4</sub> stehen mit der Außenfläche des ersten Körpers K<sub>0</sub> in Verbindung und können, wie auch aufgrund der Beschreibung der oben erläuterten Ausführungsbeispiele offensichtlich ist, in Abhängigkeit von der Lage der Membran 29 miteinander verbunden oder voneinander getrennt werden, welche ihrerseits von dem durch die beiden semiaktiven Ventile 3, 4 steuerbaren Druck in der Druckausgleichskammer 2 abhängt.

Obwohl diese Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Ventiles eine zusätzliche Schicht K<sub>0</sub> gegenüber den zuvor beschriebenen Ausführungsbeispielen erfordert, wird sie als technologisch günstiger eingestuft. Bei dieser Ventilstruktur müssen die dritte und vierte Schicht K<sub>2</sub>, K<sub>3</sub> nur im Hinblick auf die Realisierung der semiak-

tiven Ventile 3, 4 bezüglich der Wahl der technologischen Schritte für die Ventilrealisierung optimiert werden, während die anderen beiden Schichten bzw. Körper K0, K1 bezüglich der Wahl der Prozeßschritte nur für die Realisierung der Membranfunktion und Ventilsitzfunktion zu optimieren sind. Die Trennung der Funktionen der semiaktiven Ventile bzw. der Membran ermöglicht einen höheren Freiheitsgrad bei der Wahl der Prozeßparameter.

Bezogen auf Fig. 8 wird nun eine stärker abgewandelte Variante des erfindungsgemäßen Ventiles beschrieben. Dieses erfindungsgemäße Ventil ist als einfacher Schalter für einen in der Zuluftleitung L1 herrschenden, zu schaltenden Druck p1 gegenüber einem in der Abluftleitung L2 herrschenden, gegenüber dem zu schaltenden Druck p1 geringeren Druck p2. Gegenüber den vorherigen Ausführungsbeispielen entfallen die dritte und vierte Fluidleitung sowie die Membran- und Ventilkolbenstruktur innerhalb des zweiten Körpers K2.

Der Druck in der Druckkammer 2 läßt sich mittels der beiden semiaktiven Ventile 3, 4 wahlweise zwischen dem Zuluftdruck p1 und dem Abluftdruck p2 schalten, indem jeweils eines der beiden semiaktiven Ventile 3, 4 dadurch geöffnet wird, daß dessen Steuerspannung U1, U2 abgeschaltet wird, während das andere semiaktive Ventil geschlossen bleibt, indem dieses mit seiner Steuerspannung U1, U2 beaufschlagt wird. Die in Fig. 8 gezeigte Struktur eignet sich ausschließlich als pneumatisches Ventil. Als hydraulisches Ventil ist es dann einsetzbar, wenn das Volumen der Druckausgleichskammer 2 beispielsweise durch eine elastische Membran an der nach außen gewandten Fläche des ersten Körpers K1 variabel ist, so daß die Druckausgleichskammer ein veränderliches Hydraulikvolumen aufnehmen kann.

Bei diesem Ventil kann die Membran den Teil einer Pumpe bilden, die eine an die elastische Membran angrenzende Pumpkammer hat. Gleichfalls kann die Membran mit dem Kolben einer Pumpenstruktur verbunden sein.

Obwohl die erfindungsgemäßen Ventile vorzugsweise in Silizium implementiert werden, können für die Zwecke der Erfindung auch andere Materialien eingesetzt werden, welche sich für Mikrostrukturierungen eignen.

#### Patentansprüche

1. Mikrominiaturisierbares Ventil, gekennzeichnet durch eine Druckausgleichskammer (2), ein zwischen der Druckausgleichskammer (2) und einer ersten Fluidleitung (L1) derart angeordnetes, elektrostatisch haltbares, erstes semiaktives Ventil (3), daß dieses gegen einen Druck in der ersten Fluidleitung (L1), der höher ist als derjenige in der Druckausgleichskammer (2), durch Anlegen einer ersten Spannung (U1) an elektrisch leitfähige Bereiche (11, 12) des ersten semiaktiven Ventiles (3) in einem geschlossenen Zustand haltbar ist, und ein zwischen der Druckausgleichskammer (2) und einer zweiten Fluidleitung (L2) derart angeordnetes, elektrostatisch haltbares, zweites semiaktives Ventil (4), daß dieses gegen einen Druck in der Druckausgleichskammer (2), der höher ist als derjenige in der zweiten Fluidleitung (L2), durch Anlegen einer zweiten Spannung (U2) an leitfähige Bereiche (11, 12) des zweiten semiaktiven Ventiles (4) in einem geschlossenen Zustand haltbar ist.

2. Mikrominiaturisierbares Ventil nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch

einen von dem Druck in der Druckausgleichskammer (2) beaufschlagten Ventilkolben (17, 17', 17''), der in Abhängigkeit von dem Druck in der Druckausgleichskammer (2) gegen einen Ventilsitz (19, 27) zwischen einer dritten und vierten Fluidleitung (L3, L4) anlegbar ist.

3. Mikrominiaturisierbares Ventil nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch

eine Steuervorrichtung, die die erste und zweite Spannung (U1, U2) für die Ansteuerung des ersten und zweiten semiaktiven Ventiles (3, 4) derart erzeugt, daß zu jedem Zeitpunkt während des Betriebes des mikrominiaturisierbaren Ventiles (1) zumindest an eines der beiden Ventile (2, 4) eine Spannung (U1, U2) angelegt wird, einen von dem Druck in der Druckausgleichskammer (2) beaufschlagten Ventilkolben (17, 17', 17''), der in Abhängigkeit von dem Druck in der Druckausgleichskammer (2) gegen einen Ventilsitz (19, 27) zwischen einer dritten und vierten Fluidleitung (L3, L4) anlegbar ist.

4. Mikrominiaturisierbares Ventil nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Ventilkolben (17, 17', 17'') von einer an die Druckausgleichskammer (2) angrenzenden Membran (16) geführt ist.

5. Mikrominiaturisierbares Ventil nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die von dem Ventilsitz (17, 27) umschlossene Fläche (A3) im Bereich der vierten Fluidleitung (L4) kleiner ist als die von dem Druck in der Druckausgleichskammer (2) beaufschlagte Fläche (A1) des Ventilkolbens (17, 17', 17'').

6. Mikrominiaturisierbares Ventil nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das erste und zweite semiaktive Ventil (3, 4) jeweils einen beweglichen Ventilbereich (5, 22) haben, der eine Öffnung (6) in einem benachbarten, festen Flächenbereich (7) überdeckt, und daß der bewegliche Ventilbereich (5, 22) und der feste Flächenbereich (7) jeweils die genannten elektrisch leitfähigen Bereiche (10, 11) umfassen.

7. Mikrominiaturisierbares Ventil nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Fläche (F3) des beweglichen Ventilbereiches (5, 22) größer ist als die Fläche (F1) der Öffnung (6).

8. Mikrominiaturisierbares Ventil nach einem der Ansprüche 1 bis 7, gekennzeichnet durch drei übereinander angeordnete, miteinander verbundene, im wesentlichen plattenförmige Körper (K1, K2, K3), die derart ausgebildet sind, daß der erste und zweite Körper (K1, K2) miteinander die Druckausgleichskammer (2) festlegen, und daß die beiden semiaktiven Ventile (3, 4) derart durch den zweiten und dritten Körper (K2, K3) festgelegt sind, daß der bewegliche Ventilbereich (5) des ersten semiaktiven Ventiles (3) und der feste Flächenbereich (7) des zweiten semiaktiven Ventiles (4) durch den zweiten Körper (K2) gebildet sind und daß der bewegliche Ventilbereich (5) des zweiten semiaktiven Ventiles (4) und der feste Flächenbereich (7) des ersten semiaktiven Ventiles (3) durch den dritten Körper (K3) gebildet sind.

9. Mikrominiaturisierbares Ventil nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet,

daß der Ventilkolben (17, 17', 17'') und die ihn führende Membran (16) durch den zweiten Körper (K2) gebildet sind.

10. Mikrominiaturisierbares Ventil nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens zwei der drei Körper (K1, K2, K3) mit Verfahren der Halbleitertechnologie hergestellt sind.

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -



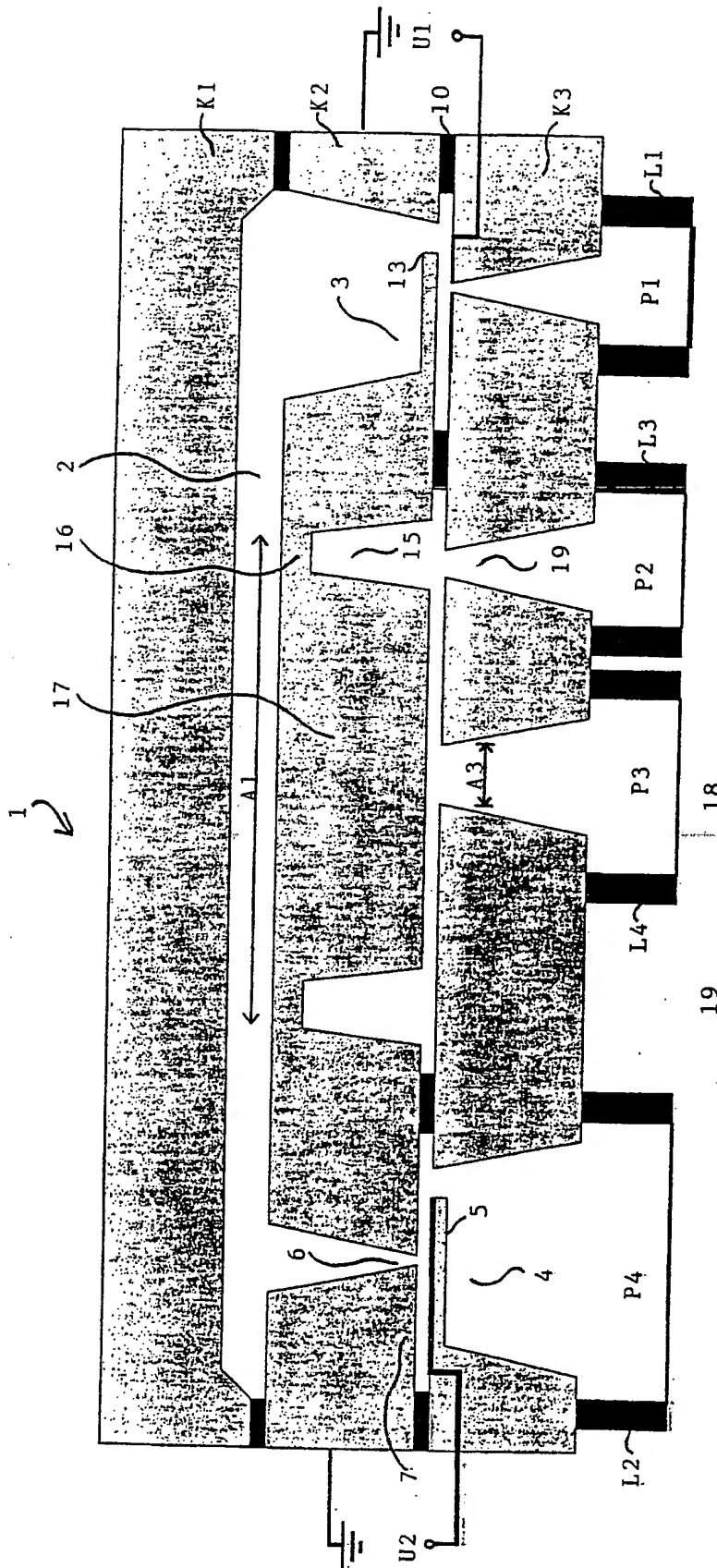
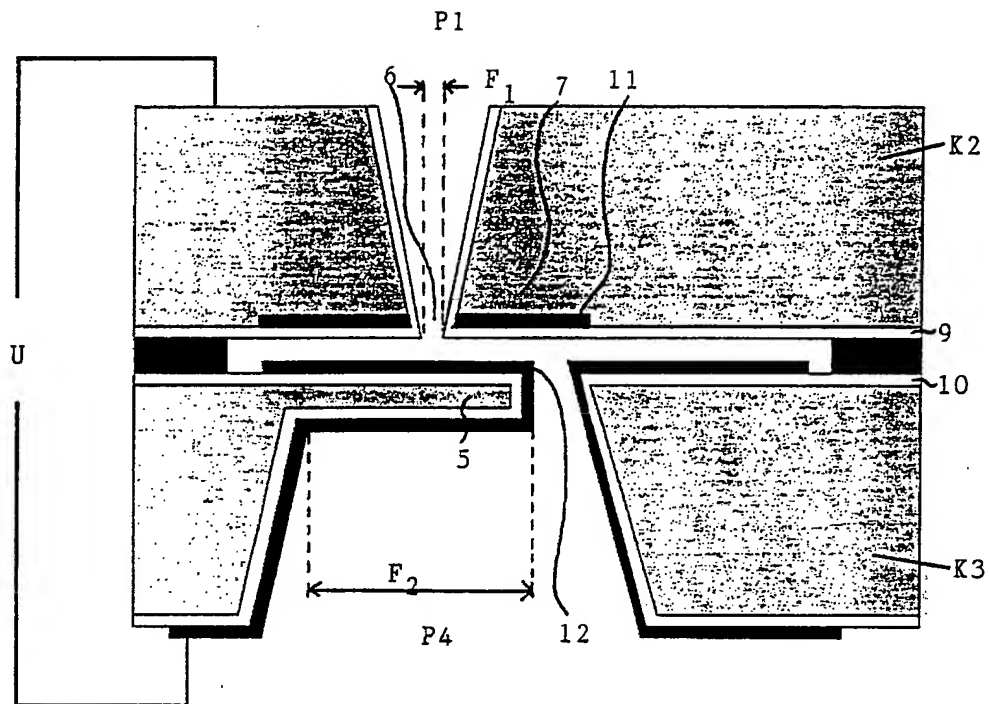


FIG. 1



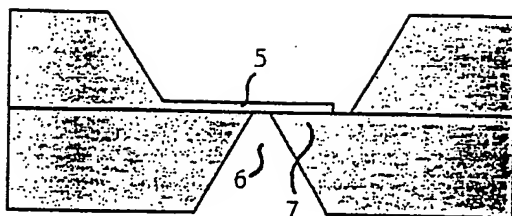


FIG. 3a

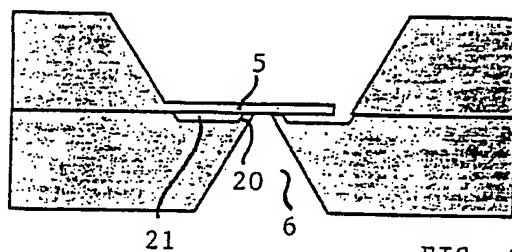


FIG. 3b

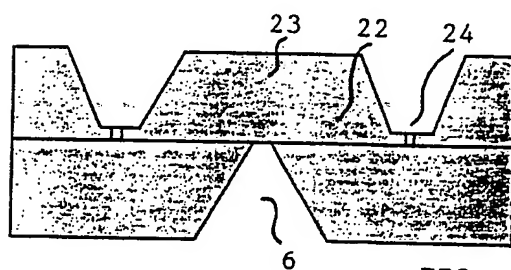


FIG. 3c

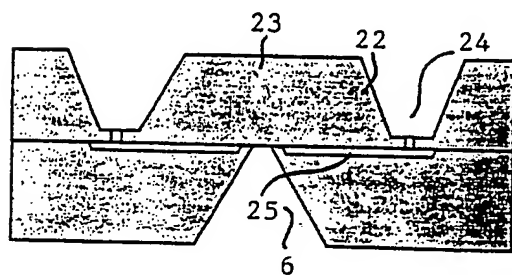


FIG. 3d

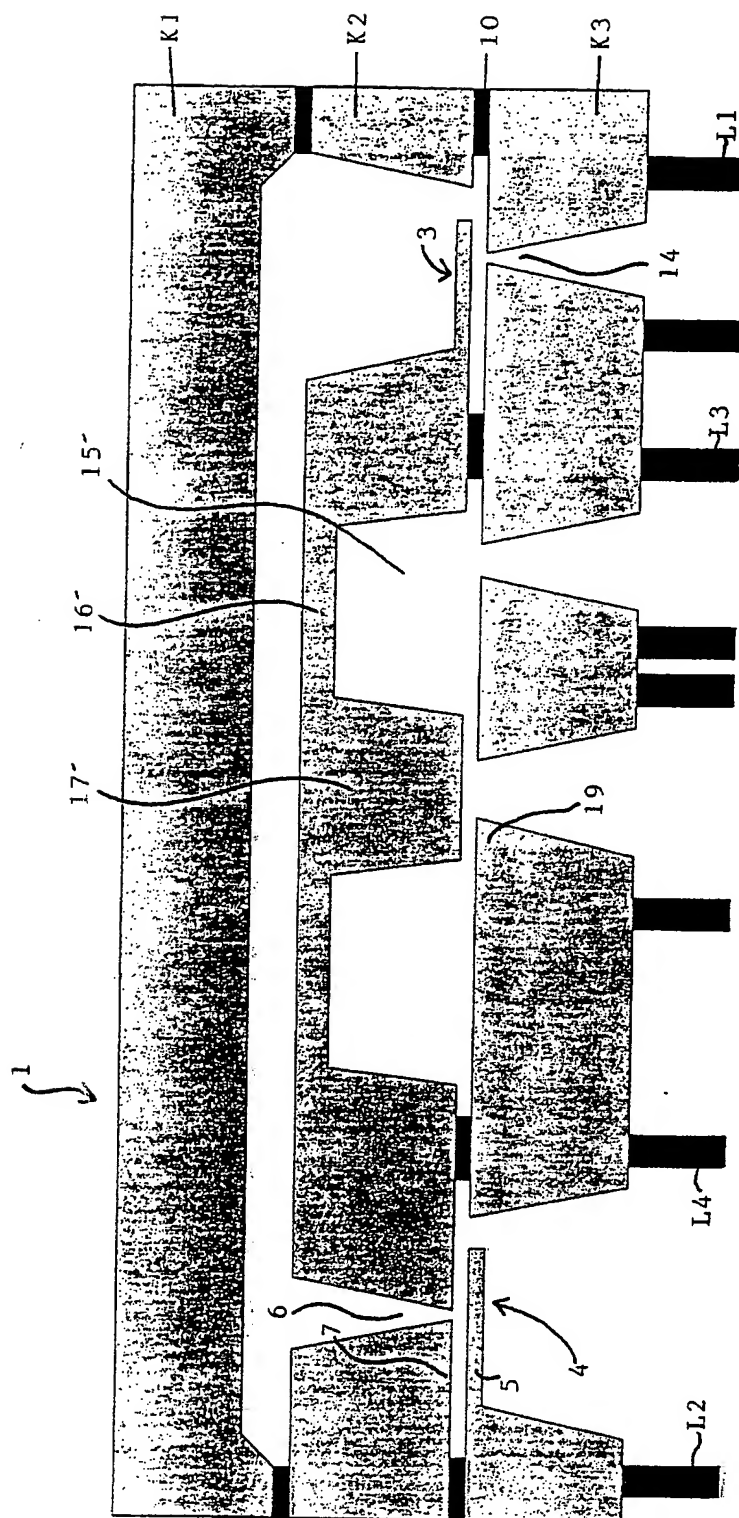


FIG. 4

Nummer:  
Int. Cl.<sup>5</sup>:  
Offenlegungstag:

DE 42 27 998 A1  
F 15 B 13/044  
10. März 1994

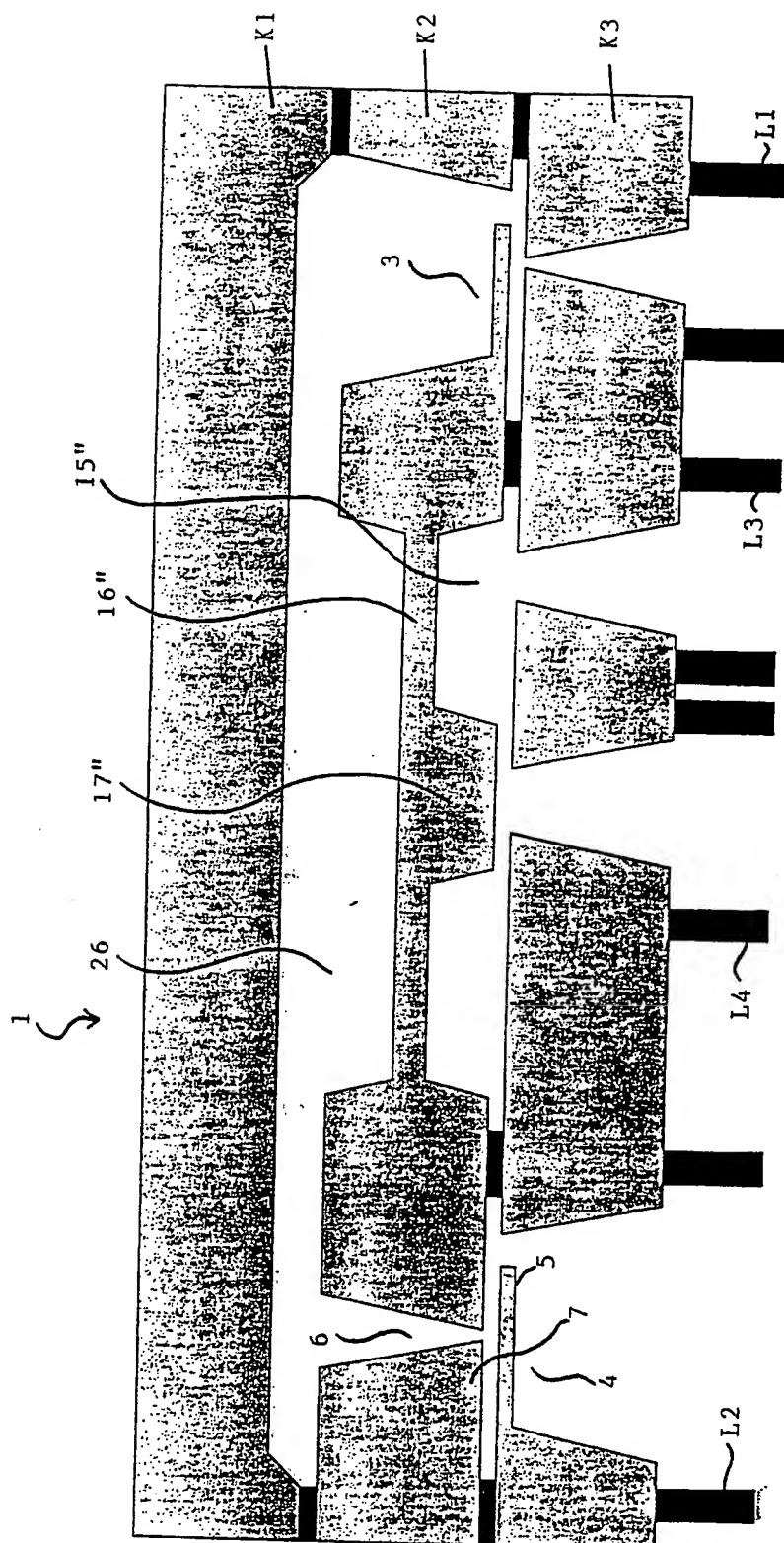


FIG. 5

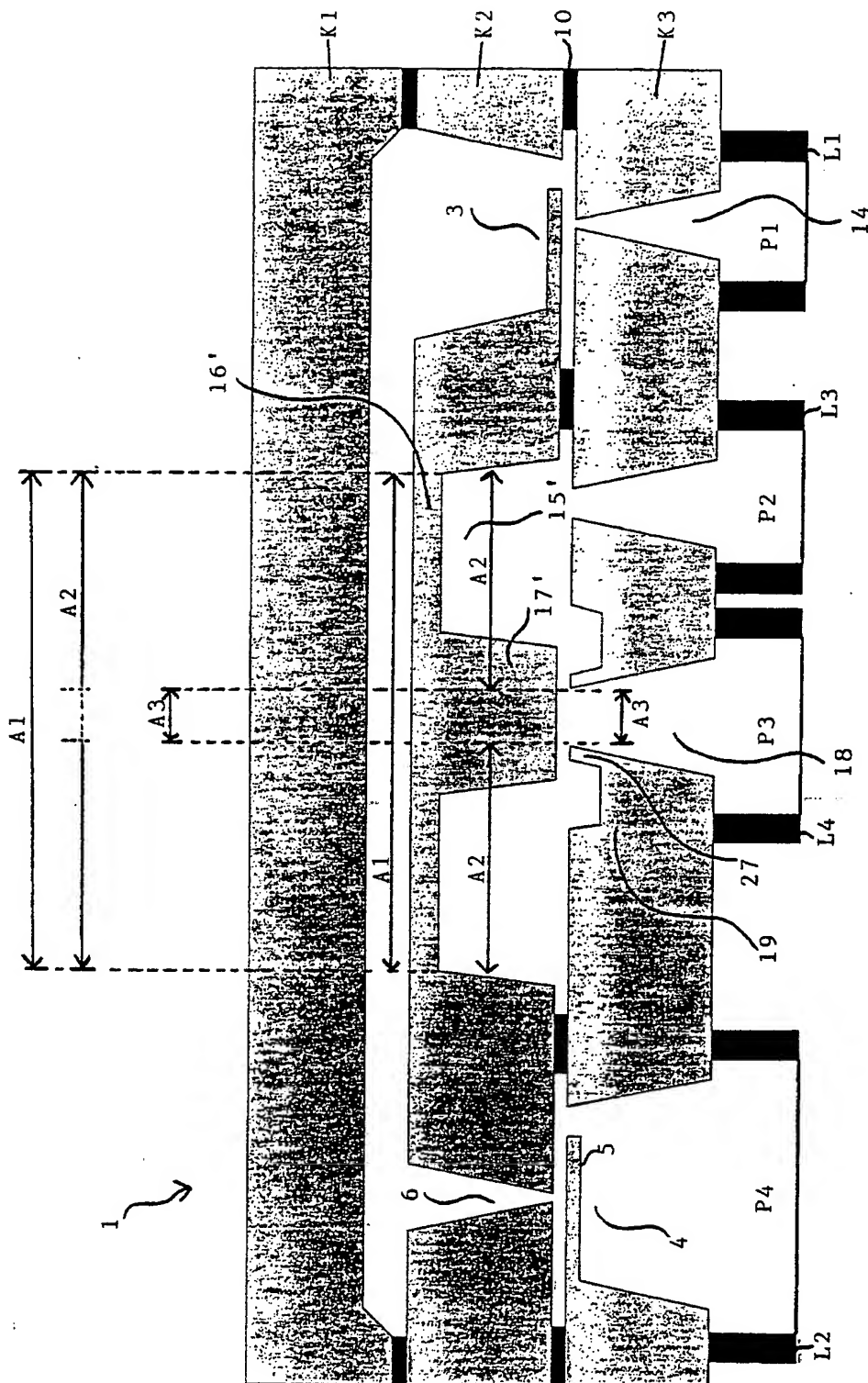


FIG. 6

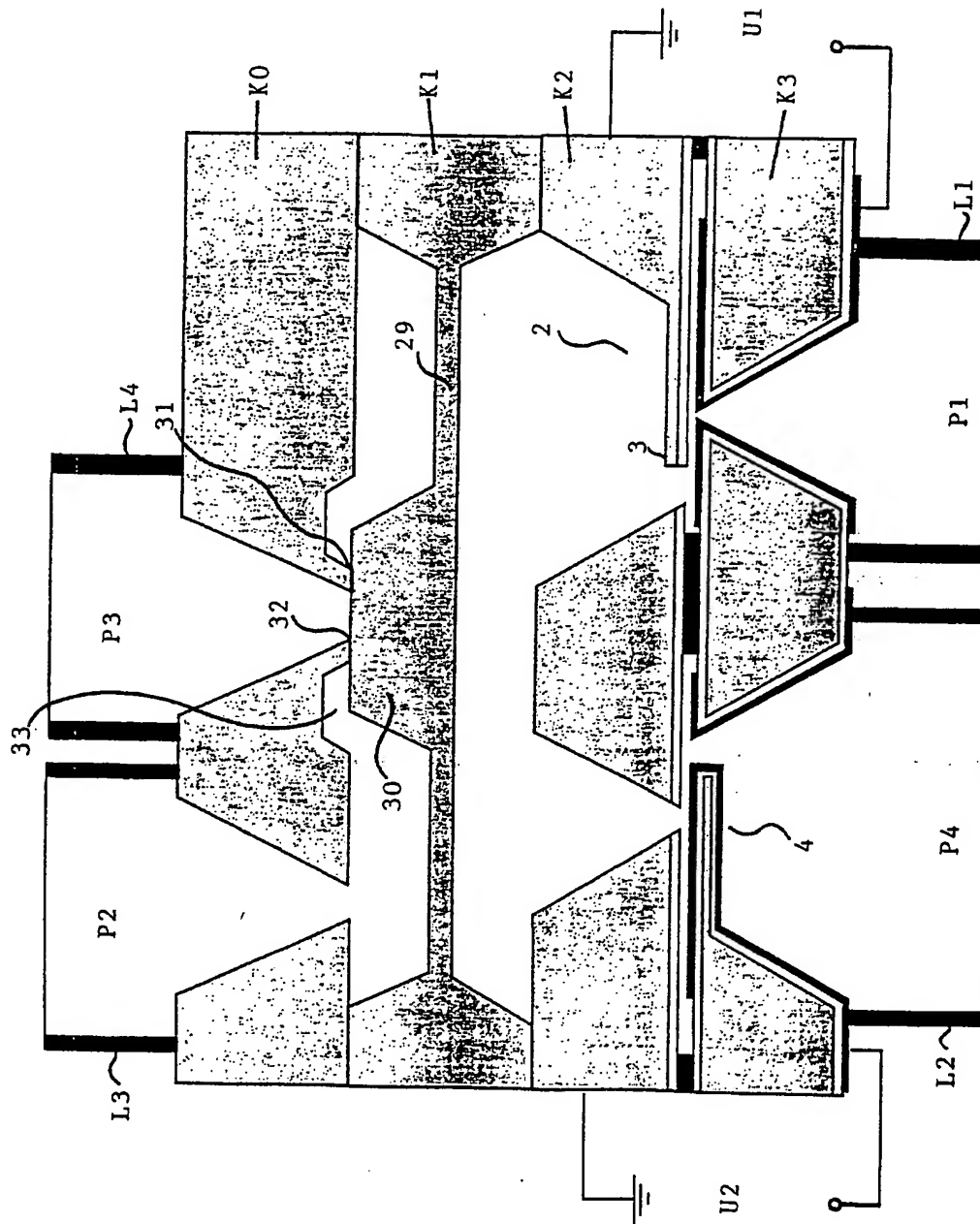


FIG. 7

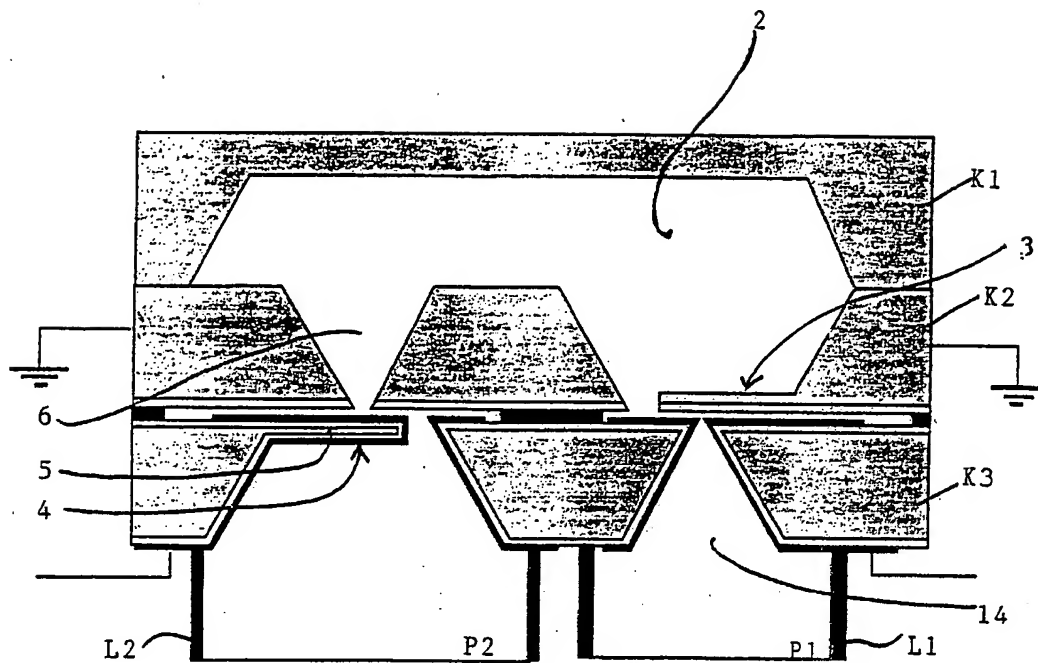


FIG. 8